کارآیی راکتور هوای بالا رونده در تولید پروتئین تک یاخته از آب پنیر

سید کریم شفقی‌اصل[1*]، جعفر توفیقی داریان[2]، سید عباس شجاع‌الساداتی[3]

۱- کارشناسی ارشد، مربی گروه مهندسی شیمی صنایع غذایی، دانشکده فنی، دانشگاه محقق- اردبیلی
۲- دکتری، استاد گروه مهندسی شیمی بیوتکنولوژی، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس- تهران
۳- دکتری، استاد گروه مهندسی شیمی بیوتکنولوژی، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس- تهران

چکیده

امروزه در جهان کمبود مواد غذایی به ویژه مواد پروتئینی، مسئله بسیار مهمی است. در اثر افزایش جمعیت جهان، نیاز به مواد غذایی روز به روز افزایش می‌یابد. به همین جهت محققان در جستجوی منابع ارزان قیمت پروتئین برای مردم می‌باشند. آب پنیر محصول فرعی کارخانجات پنیرسازی است. آب پنیر به علت داشتن COD (chemical oxygen dem and) بالا، مشکلات زیست محیطی فراهم می‌کند. با توجه به این مشکلات، تحقیقات زیادی بر روی آب پنیر انجام شده و محصولات مختلفی، از جمله پروتئین تک یاخته بدست آورده‌اند.

در این تحقیق، تولید پروتئین تک‌یاخته از آب پنیر و مخمر تریکوسپرون(*Trichosporon sp.*) در راکتور هوای بالارونده با حلقهٔ جریان خارجی(External loop airlift reactor) مورد بررسی قرار گرفت. عوامل مؤثر بر نگهداشت گاز(Gas hold up) از قبیل، شدت هوادهی، نسبت قطر ناودان به قطر بالابر و ارتفاع مایع در جداکنندهٔ گاز بررسی و بهینه‌سازی شد. در این شرایط بهینه، میزان پروتئین تک یاخته بدست آمد.

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مقدار بهینه برای شدت هوادهی ۲/۲۷ سانتی‌متر بر ثانیه، نسبت قطر ناودان به قطر بالابر ۰/۵ و ارتفاع مایع جداکننده گاز ۳ سانتی‌متر می‌باشد. در این شرایط بهین،ه مقدار پروتئین تک یاخته ۱۸/۹ گرم بر لیتر بدست آمد. میزان پروتئین تک‌یاخته در راکتورهای همزن‌دار و ستونی حبابدار که به ترتیب ۱۰/۳۸ و ۱۷/۳ گرم بر لیتر در تحقیقات دیگران بدست آمده بود. در مقایسه، راکتور هوای بالارونده با حلقه جریان خارجی حدود ۸/۵ درصد نسبت به راکتور ستونی حبابدار و ٤٥ درصد نسبت به راکتور همزن‌دار در تولید پروتئین تک‌یاخته افزایش نشان داد. بنابراین راکتور هوای بالارونده با حلقه جریان خارجی در تولید پروتئین تک‌یاخته مناسب به نظر می‌رسد. تولید پروتئین تک‌یاخته در راکتورهای دیگری از هوای بالارونده از جمله راکتور هوای بالارونده با حلقهٔ جریان داخلی(Internal loop airlift reactor) می‌تواند بررسی شود و نتایج حاصله از آن با نتایج این تحقیق مقایسه شود.

کلید واژگان: پروتئین تک‌یاخته، راکتور، راکتور هوای بالارونده، آب پنیر

۱- مقدمه

امروزه در جهان کمبود مواد غذایی مسئله بسیار مهمی است و اکثر جوامع به نوعی در پی یافتن راهی برای حل این مشکل هستند. با افزایش جمعیت جهان ، روز به روز نیاز به مواد غذایی به ویژه مواد پروتئینی افزایش می‌یابد. به همین جهت دانشمندان درجستجوی منابع ارزان قیمت پروتئین برای مردم می‌باشند. یکی از این منابع، پروتئین تک‌یاخته است.

پروتئین تک یاخته در حال حاضر، در جیره غذایی دام و طیور استفاده می‌شود. البته اگر این پروتئین به عنوان غذای انسان مورد استفاده قرار گیرد ، قبل از استفاده باید استخراج و تغلیظ شود و اسید نوکلئیک آن کاهش یابد ، زیرا بالا بودن اسید نوکلئیک باعث تولید اسید اوریک و در نهایت سبب بیماری نقرس[1] می‌شود. استفاده از مخمر به عنوان تولید مخمر از آب

* مسئول مکاتبات: shafaghiasl@ Yahoo. Com

1.Gout

Archive of SID
www.SID.ir

پنیر به عنوان ماده اولیه توسط میسرس[1] انجام شد. در فرانسه بیش از ٦٠٠ تن پروتئین تک‌یاخته در سال، برای مصارف تغذیه‌ای تولید می‌شود[١].

آب پنیر مایع باقیمانده پس از حذف چربی و کازئین از شیر در فرآیند تهیه پنیر می‌باشد. در فرآیند تهیهٔ پنیر، مواد تشکیل دهندهٔ شیر بین پنیر و آب پنیر توزیع می‌شود. استحصال سالیانه آب پنیر در دنیا بیش از ١٤٥ میلیون تن است. بطور میانگین در تهیهٔ هر کیلوگرم پنیرحدود ١٠- ٩ کیلوگرم آب پنیر بدست می‌آید. طبق آمارهای رسمی اعلام شده، مصرف پنیر در ایران سالانه بیش از ٢٥٠ هزار تن برآورد می‌شود[١]. بنابراین در ایران سالیانه بیش از ٢ میلیون تن آب پنیر استحصال می‌شود. آب پنیر به علت داشتن حجم بالا و فسادپذیر بودن به عنوان یک ماده خام برای فرآیندهای صنعتی مناسب نمی‌باشد. در نتیجه آب پنیر در بیشتر نقاط جهان هنوز یک مشکل جدی است و اگر نتوان آن را به یک غذای مفید و سودمند تبدیل نمود، باید با آن به عنوان یک فاضلاب برخورد کرد. تخلیهٔ آب پنیر به نهرها به علت بالابودن COD آن، باعث ایجاد مشکلی بزرگ در زمانی کوتاه خواهد شد و به علت آلودگی بالا، تصفیه آن پرهزینه خواهد بود. از طرفی مقدار بالای COD مبین محیط مناسب جهت رشد و تکثیر انواع میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. بنابراین دور ریختن آب پنیر باعث ایجاد آلودگی زیاد و شیوع انواع میکروب‌ها و بیماری‌ها خواهد شد. با توجه به مشکلات زیست محیطی آب پنیر، تحقیقات زیادی بر روی آن انجام شده و محصولات مختلفی از قبیل، گلیسرول، صمغ گزانتان[2]، اتانول، طعم دهنده‌ها، اسیدهای آلی، محصولات دیگر و بویژه پروتئین تک‌یاخته تولید شده‌است[١].

در دهۀ اخیر، راکتورهای همزن‌دار برای فرآیندهای تخمیری استفاده شده است. اما از آنجایی که در صنعت افزایش ظرفیت تولید، کاهش هزینه‌ها و بازدهی بالا مدنظر می‌باشد. بنابراین به راکتورهایی با حجم بالا نیاز است. چون ساختن راکتورهای همزن‌دار مکانیکی در اندازه‌های بزرگ از نظر کنترل مشکلاتی را بوجود آورد، بنابراین راکتورهای جدید طراحی و ساخته شده‌اند. در سال ١٩٩٠ از راکتورهای ستونی حبابدار[3] و هوای بالارونده جهت تولید دکستران ساکاراز[4] استفاده کرده‌اند که این ماده نوعی آنزیم است که برای تولید مواد دارویی دکستران بکار می‌رود. در سال ١٩٩١ یک راکتور جدید از هوای بالارونده طراحی و ساخته شد که در آن کشت سلول‌های حیوانی مورد مطالعه قرار دادند. در سال ١٩٩٢ کارامانر و همکارانش از راکتورهای هوای بالارونده برای تولید پنی‌سیلین در سیستم‌های سه فازی آزمایش‌های متعددی انجام داده و عوامل طراحی و عملیاتی را روی میزان سرعت انتقال جرم بدست آوردند. در سال ١٩٩٧ تاگا[5] و همکارانش توانستند توسط عملیات تخمیر پلی‌دی‌هیدروکسی بوتیریک اسید را در راکتور هوای بالارونده تولید نمایند. این محصول به عنوان ماده اولیه پلیمرهای زیست تخریب‌پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرد[١،٢]. در هر پروسه بیوتکنولوژی، می‌بایستی مناسب‌ترین روش، مورد استفاده قرار گیرد، بطوری که فرآیند بیولوژیکی مورد نظر، در طی همهٔ مراحل تولید، قابل کنترل باشد. برای این منظور بیوراکتور طراحی گردیده است. بیوراکتورها، با ایجاد محیطی کنترل شده برای رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها جهت تولید محصولی با استفاده از آنها، این عمل را ممکن می‌سازند[٣]. بخش عمدهٔ توانایی ما در حفظ شرایط مطلوب در بیوراکتور به انجام عملیات تحت شرایط سترون[6] مربوط می‌گردد که پیش نیاز آن، شرایط سترون بیوراکتور و محتویات آن خواهد بود و پس از آن است که باید شرایط بوجود آمده را حفظ نمائیم[٤، ٥، ٦].

٢- مواد و روش‌ها

برای تولید پروتئین تک‌یاخته از ضایعات کشاورزی و پساب‌های صنعتی به عنوان سوبسترا می‌توان استفاده کرد. در این تحقیق از پساب‌های کارخانجات پنیرسازی به عنوان سوبسترا استفاده شد. در تولید پروتئین تک‌یاخته از میکروارگانیسم‌های مختلف می‌توان استفاده کرد. در این تحقیق از مخمر تریکوسپرون، که در تحقیقات قبلی از پساب کارخانه‌پنیرسازی، جداسازی شده بود، استفاده شد. در فرآیند تخمیری جهت تولید محصول، نیاز به بیوراکتور می‌باشد. بیوراکتورها، انواع مختلف دارند. در این تحقیق، بیوراکتور هوای بالارونده با حلقه جریان خارجی طراحی و به کمک مرکز پژوهش‌های پالایشگاه تهران ساخته شد و در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

1. Messers
2.Xantane
3.Bubble Column
4. Dextran Sucrase
5.Taga
6. 4.Aseptic Conditions

Archive of SID
www.SID.ir

٢- ١- میکروارگانیسم

مخمر ترکوسپرون از نظر تولید پروتئین تک‌یاخته نسبت به سایر میکروارگانیسم‌ها، دارای بازدهی بیشتر می‌باشد[١]. شرایط رشد این مخمر در حالت کشت مداوم و غیرمداوم در بیوراکتور همزن‌دار در تحقیقات قبلی، بهینه‌سازی شده‌است.این میکروارگانیسم فلور طبیعی انسان بوده[١] و بیماری حادی را در انسان و دام ایجاد نمی‌کند.این مخمر بر روی آگار شیب‌دار در آزمایشگاه در یخچال نگهداری می‌شود[١، ٣، ٧، ٨ ، ٩].

٢- ٢- محیط کشت و بیوراکتور

در این تحقیق از محیط کشت آگار استفاده شد. برای تهیهٔ این محیط کشت، ٣٩ گرم از پودر آن را در یک لیتر آب مقطر حل نموده و تا نقطهٔ جوش حرارت داده می‌شود تا آگار آن کاملاً حل شود. برای یکنواختی کامل نیز به همراه حرارت دادن، محیط کشت باید به هم زده شود. بیوراکتور مورد استفاده در این تحقیق، راکتور هوای بالارونده با حلقهٔ جریان خارجی بود. این راکتور طراحی شد و با همکاری مرکز پژوهش‌های صنعت نفت پالایشگاه تهران ساخته شد. این راکتور، یک راکتور شیشه‌ای دوجداره با قطر بالابر[1] ١٠٠ میلی‌متر و چهار ناودان[2] به قطرهای ٦٠، ٥٠، ٤٠ و ٢٦ میلی‌متری و با ارتفاع کلی ١٥٠٠ میلی‌متر، طول ارتفاع ناودان‌ها ٧٥٠ میلی‌متر و طول ارتفاع جداکنندهٔ گاز[3] ٤٠٠ میلی‌متر بود. توزیع کننده[4] آن بصورت آرایش مثلثی با سوراخ‌های ١ میلی‌متری بود. اختلاف مهم راکتورهای همزن‌دار و هوای بالارونده و ستونی حبابدار در فرایندهای بیولوژیکی، تنش برشی وارد شده بر سلول ناشی از عمل اختلاط، به‌صورت یکنواخت و آرام می‌باشد، در صورتی که در راکتورهای ستونی حباب‌دار بویژه در راکتور همزن‌دار تنش به‌صورت متمرکز بر بدنه سلول وارد می‌شود و سبب تخریب آن می‌گردد[٩].

1.Riser
2.Down Commer
3.Gas Separator
4.Sparger

٢- ٣- آماده‌سازی محیط کشت و نگهداری میکروارگانیسم

محیط کشت PDA که قبلاً تهیه شده بود، مقداری از آن به لوله‌های آزمایش منتقل داده شد. پس از بستن در لوله‌های آزمایش با پنبه و گذاشتن ورق آلومینیومی روی آن، در دستگاه اتوکلاو در دمای ١٢١ درجه سانتی‌گراد و با فشار psi ١٥ به مدت ١٥ دقیقه قرار داده شدند تا استریل شوند. پس از عمل استریل‌کردن، لوله‌های آزمایش به‌صورت مورب روی سطح صاف قرار داده شدند تا آگار آنها به‌صورت مورب[5] منعقد گردد. از لوله‌های آزمایش حاوی محیط کشت PDA پس از تلقیح مخمر تریکوسپرون به سطح آنها و دماگذاری ٣٠ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٤ ساعت در انکوباتور و رشد مخمر در آن در یخچال در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد، نگهداری شد، تا در مواقع نیاز از آن استفاده شود[١ و ٧].

٢- ٤- روش تهیه محیط کشت پایه و مایهٔ تلقیح[6]

آب پنیر صاف شده در این تحقیق، به عنوان محیط کشت پایه استفاده شد. روش تهیه آن به‌صورت زیر انجام گرفت:

١- آب پنیر تازه از کارگاه پنیرسازی تهیه شد.

٢- PH آب پنیر در حدود ٤/٦٧ تنظیم شد.

٣- به مدت ١٥ دقیقه در دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد جوشانده شد.

٤- بعد از سرد شدن پروتئین‌های منعقد شده توسط پارچه تمیز جدا شد.

٥- برای حذف ذرات کوچک پروتئین از دستگاه اولترافیلتراسیون سارتریوس استفاده شد.

٦- آب پنیر صاف شده جهت نگهداری به یخچال منتقل شد.

٧- به هنگام استفاد از آب پنیر صاف شده، پس از اضافه کردن سولفات آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن و تنظیم PH آن روی ٣/٥، در دستگاه اتوکلاو ٢٥ لیتری استریل شد و مورد استفاده قرار گرفت.

5.Slant
6.Seed Culture

Archive of SID
www.SID.ir

برای تهیهٔ مایهٔ تلقیح مقدار ۳۵۰ میلی‌لیتر از آب پنیر صاف شده را به ارلن یک لیتری منتقل کرده و در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ چندین ارلن با همان اندازه و مقدار انجام شد. پس از استریل کردن، ارلن‌ها سردشده و به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد رسانیده شد. برای تهیهٔ تلقیح از لوله‌های آزمایش حاوی مخمر تریکوسپرون استفاده شد.

۲- ۵- روش بررسی رشد مخمر تریکوسپرون

رشد مخمر تریکوسپرون از سه روش زیر، مورد بررسی قرار گرفت:

۱- روش جذب نوری با استفاده از اسپکتروفتومتر UV 1201 shmatso ، در این روش در ساعت‌های متوالی از بیوراکتور نمونه‌گیری و جذب آنها در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. جذب صعودی نمایانگر رشد مخمر تریکوسپرون داخل بیوراکتور بود.

۲- روش اندازه‌گیری وزن خشک، در این روش مقدار مشخصی از نمونه را بر روی صافی ریخته و تودهٔ زیستی بر روی صافی باقی می‌ماند، سپس صافی را در آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا زمانیکه وزن آن ثابت باقی بماند، قرار داده می‌شد. با توجه به اینکه وزن صافی مشخص است وزن خشک تودهٔ زیستی بدست می‌آمد.

۳- روش اندازه‌گیری وزن خشک با استفاده از خاصیت ته‌نشینی مخمرها، در این روش از دستگاه سانتریفوژ با سرعت و دور بالای بکمن[1] استفاده شد. سپس تودهٔ زیستی به پتری دیش که از قبل وزن شده بود، منتقل و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. تفاوت وزن اولیه و نهایی میزان تودهٔ زیستی خشک را مشخص کرد[۱ و ۷].

۲- ۶- روش‌های اندازه‌گیری نگهداشت گاز

برای اندازه‌گیری نگهداشت گاز در بیوراکتورها، از روش‌های مختلف می‌توان استفاده کرد. از این روش‌ها می‌توان، روش اندازه‌گیری ارتفاع، روش استفاده از سنسور مقاومت الکتریکی، روش عکسبرداری با فلاش نوری و روش اندازه‌گیری اختلاف فشار را نام برد.

1.Bakman

الف- اندازه‌گیری ارتفاع

در ساده‌ترین حالت، زمانی که بیوراکتور مورد استفاده شفاف و داخل آن قابل مشاهده است می‌توان سطح مایع را در حالت‌های هوادهی شده و نشده با چشم اندازه‌گیری کرد و با استفاده از رابطهٔ زیر نگهداشت گاز را بدست آورد:

(۱)

$$E = \frac{H_B - H_R}{H_B}$$

به‌طوریکه:

H_R = ارتفاع مایع هوادهی نشده

H_B = ارتفاع مایع هوادهی شده

در این تحقیق، برای اندازه‌گیری نگهداشت گاز از این روش استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

نگهداشت گاز، یکی از عوامل مؤثر بر انتقال جرم و چرخش مایع در داخل بالابر در بیوراکتور هوای بالارونده با حلقهٔ جریان خارجی است. انتقال جرم نیز مؤثر بر بازدهی بیوراکتور در تولید پروتئین تک‌یاخته می‌باشد[۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵]. بنابراین عوامل مؤثر بر نگهداشت گاز در این نوع راکتور مورد بررسی قرار گرفت. این عوامل مؤثر عبارت از، نسبت قطر بالابر به قطر ناودان $\left(\frac{D_d}{D_r}\right)$، ارتفاع جداکننده گاز (H_t)و سرعت ظاهری گاز می‌باشند. در سیستم آب پنیر- هوا این عوامل بررسی شدند و مقدار بهینهٔ آنها مشخص گردیدند. نتایج در جداول ۱ تا ۴ آورده شده‌است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ١ نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع و سرعت‌های مختلف گاز در $\frac{D_d}{D_r}$ = ٠/٦

ارتفاع(cm) / سرعت $(\frac{cm}{S})$	نگهداشت گاز			
	H_t=٠	H_t=٣	H_t=١٠	H_t=١٤
٠/٥٧	١	–	–	–
١/١٣	٤	–	–	–
١/٧٠	٥	٢/٦	–	–
٢/٢٧	٧/١	٣/٦	–	–
٢/٨٣	٧/٨	٤/١	–	–
٣/٢٠	٧/٩	٤/٨	٣/١	٢/٩
٣/٩٦	٨/٥	٥/٤	٤/٣	٤/٢
٤/٥٣	٩/٥	٧/١	٦/٤	٦/٣
٥/٦٦	١٠/٥	٨/٥	٧/٣	٧/١

جدول ٢ نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع و سرعت‌های مختلف گاز در $\frac{D_d}{D_r}$ = ٠/٥

ارتفاع(cm) / سرعت $(\frac{cm}{S})$	نگهداشت گاز			
	H_t=٠	H_t=٣	H_t=١٠	H_t=١٤
٠/٥٧	١	–	–	–
١/١٣	٤/١	–	–	–
١/٧٠	٥/٢	٢/٧	–	–
٢/٢٧	٧/٥	٣/٧	–	–
٢/٨٣	٧/٨	٤/٢	–	–
٣/٢٠	٧/٨٥	٤/٩	٣	٢/٩
٣/٩٦	٨/٦	٥/٥	٤/٢	٤/١
٤/٥٣	٩/٦	٧/٢	٦/٣	٦/٢
٥/٦٦	١٠/٦	٨/٦	٧/٢	٧

جدول ٣ نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع و سرعت‌های مختلف گاز در $\frac{D_d}{D_r}$ = ٠/٤

ارتفاع(cm) / سرعت $(\frac{cm}{S})$	نگهداشت گاز			
	H_t=٠	H_t=٣	H_t=١٠	H_t=١٤
٠/٥٧	٣/٦	–	–	–
١/١٣	٥/٣	–	–	–
١/٧٠	٧/٢	٢/٧	–	–
٢/٢٧	٨	٣/٢	–	–
٢/٨٣	٨/٦	٣/٤	–	–
٣/٢٠	٩	٣/٦	٤/٥	٤/٢
٣/٩٦	٩/٢	٤/٥	٥/٣	٥/١
٤/٥٣	٩/٧	٦	٥/٨	٥/٦
٥/٦٦	١٠	٦/٤	٦/٢	٦

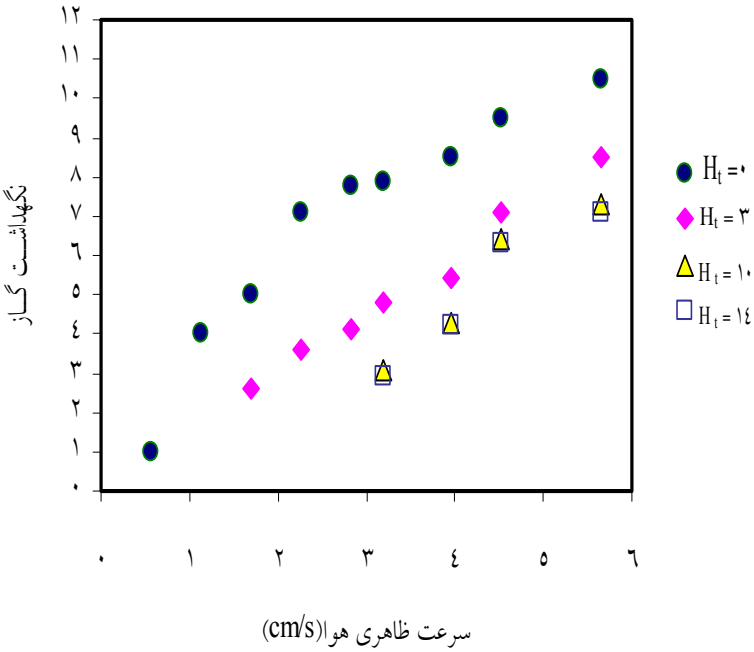
جدول ٤ نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع و سرعت‌های مختلف گاز در $\frac{D_d}{D_r}$ = ٠/٢٦

ارتفاع(cm) / سرعت $(\frac{cm}{S})$	نگهداشت گاز			
	H_t=٠	H_t=٣	H_t=١٠	H_t=١٤
٠/٥٧	٣/٢	–	–	–
١/١٣	٥/٣	–	–	–
١/٧٠	٦/٢	٢/٦	–	–
٢/٢٧	٧/٥	٢/٧	–	–
٢/٨٣	٨/٥	٣/٢	–	–
٣/٢٠	٨/٦	٣/٣	٤/٩	٤/٤
٣/٩٦	٩/٦	٣/٩	٥/٣	٥/٢
٤/٥٣	٩/٧	٤/٥	٥/٨	٥/٦
٥/٦٦	٩/٨	٥	٦/٣	٥/٧

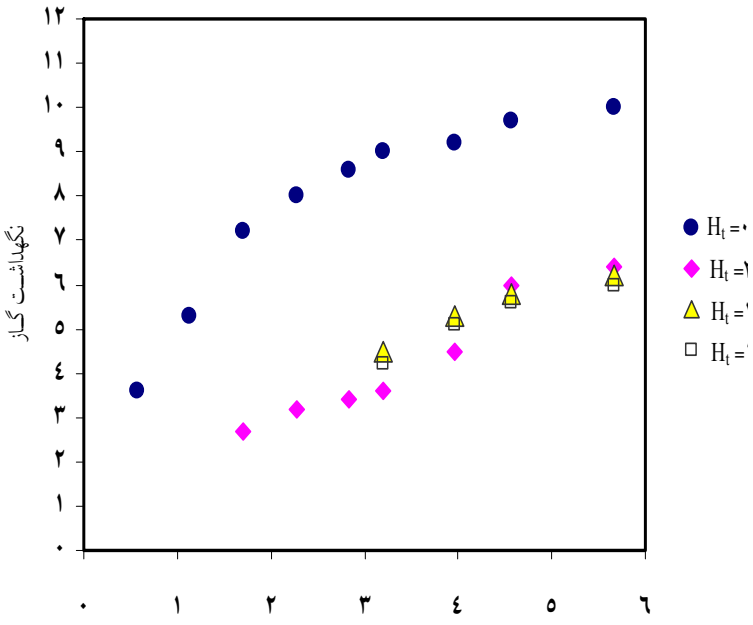
Archive of SID

www.SID.ir

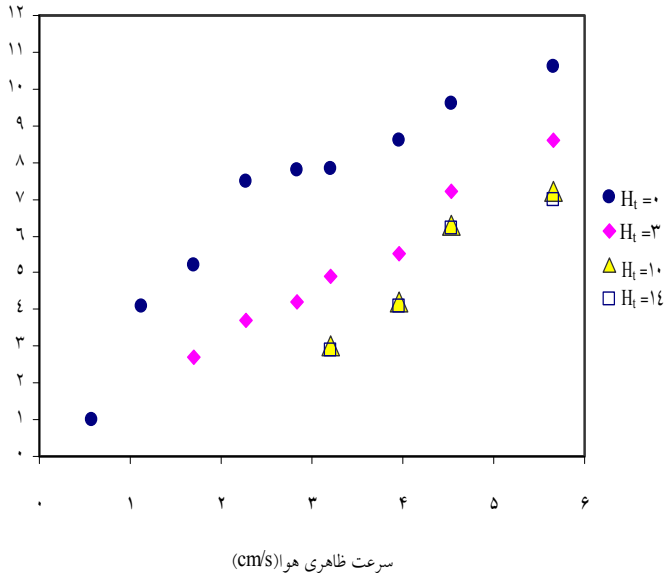
جداول ۱ تا ٤ به صورت شکل‌های ۲ تا ۵ در زیر آورده شده‌است.



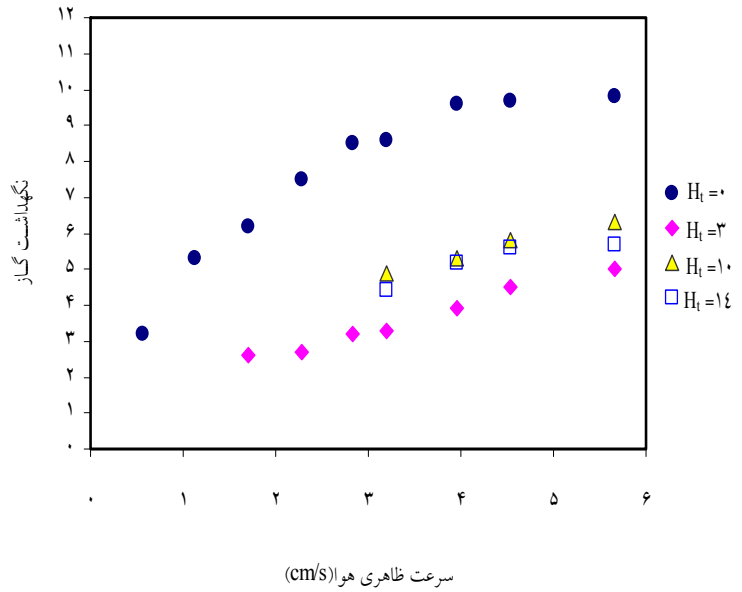
شکل ۲ تغییرات نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع‌های مختلف بر حسب سرعت ظاهری هوا در $\frac{Dd}{Dr}$ =۰/٦



شکل ٤ تغییرات نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع‌های مختلف برحسب سرعت ظاهری هوا $\frac{Dd}{Dr}$ =۰/٤



شکل ۳ تغییرات نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع‌های مختلف بر حسب سرعت ظاهری هوا در $\frac{Dd}{Dr}$ =۰/۵



شکل ۵ تغییرات نگهداشت گاز در سیستم آب پنیر- هوا در ارتفاع‌های مختلف بر حسب سرعت ظاهری هوا در $\frac{Dd}{Dr}$ =۰/۲٦

www.SID.ir

همانگونه که در شکل‌های ۲، ۳، ٤ و ۵ مشاهده می‌گردد، با افزایش سرعت ظاهری هوا برای تمامی ارتفاع‌های مایع در جداکنندهٔ گاز، نگهداشت گاز افزایش می‌یابد. این امر را می‌توان ناشی از افزایش سرعت ظاهری هوای موجود در راکتور، تولید حباب‌های ریزتر و نیز افزایش زمان ماند حباب‌های کوچکتر از طریق چرخش سریع مایع در سرعت‌های بالای هوا دانست. همچنین مشاهده می‌گردد، که شیب تغییرات نگهداشت گاز در سرعت‌های پایین هوا، بیشتر از سرعت‌های بالای هوا می‌باشد، زیرا با افزایش سرعت، مقدار حباب‌ها در واحد حجم بیشتر شده و در نتیجه برخورد آن‌ها نیز افزایش یافته و در نهایت باعث افزایش بهم پیوستگی حباب‌ها می‌شود، این امر کند شدن شیب تغییرات نگهداشت گاز را در سرعت‌های بالا به همراه دارد(شکل‌های ۲، ۳، ٤ و ۵). آب پنیر یک مایع کف کننده است(١٦)، بنابراین تمایل به عدم به‌هم‌پیوستگی حباب‌ها را دارد ولی با افزودن ضدّ کف به محیط برای کنترل کف، مایع به سمت خاصیت به‌هم‌پیوستگی میل می‌کند(١٦). شیب افزایش نگهداشت گاز از سرعت حدود ۲/۲۷ سانتی‌متر بر ثانیه به بالاتر، کند می‌شود(جداول ۱و۲و۳و٤). این امر را می‌توان ناشی از تغییر رژیم جریانی از حالت هموژن به حالت هتروژن دانست. در H_t های بالا در سرعت‌های کم، ریزش مایع از توزیع کننده، پیش می‌آمد، بنابراین در سرعت‌های پایین کار نشد. با افزایش ارتفاع مایع درجه کنندهٔ گاز H_t از ۰ تا ١٤ سانتی‌متر در سرعت‌های مختلف هوا، نگهداشت گاز کاهش می‌یابد(جداول۱و۲و۳و٤). زیرا با افزایش H_t، حباب‌ها فرصت کافی برای پیوستن به یکدیگر را پیدا کرده که این مسئله منجربه کاهش نگهداشت گاز می‌شود. همچنین از جداول اول مشاهده می‌شود که در H_t بالاتر از ۳ سانتی متر افزایش ارتفاع تأثیری بر نگهداشت گاز نخواهند داشت.

با توجه به جداول(۱، ۲، ۳ و٤) مشاهده می‌شود که تأثیر نسبت قطر ناودان به قطر بالابر در مقادیر ۰/٦، ۰/۵، ۰/٤ و ۰/۲٦ بر روی نگهداشت گاز در H_t برابر با ۳ سانتی‌متر، با افزایش نسبت تا ۰/۵ میزان نگهداشت گاز افزایش می‌یابد، ولی از نسبت ۰/۵ به بعد میزان نگهداشت گاز کاهش می‌یابد، علت آن می‌تواند، همان بهم‌پیوستگی حباب‌ها باشد.

در این تحقیق، میزان تولید پروتئین تک‌یاخته با استفاده از مخمر تریکوسپرون و آب پنیر در شدت هوادهی‌های مختلف بررسی شد. در این بررسی مقادیر بهینه بدست آمده در مورد ارتفاع مایع در جداکنندهٔ فاز(H_t=۳cm) و نسبت قطر ناودان به قطر بالابر(۰/۵= $\frac{Dd}{Dr}$) و شرایط بهینهٔ PH=۳/۵ و دما ۳۰c° (در تحقیقات قبلی بدست آمده بود) بود. جذب نوری بعد از نمونه‌گیری از بیوراکتور و سانتریفوژ کردن در پایان فرآیند تخمیر انجام شد. نتایج این بررسی در جدول ۵، آورده شده‌است.

جدول ۵ میزان پروتئین تک‌یاخته(جرم سلولی) در شدت هوادهی‌های مختلف در مقادیر بهینهٔ پارامترهای مؤثر

جرم تودهٔ زیستی($^{qr}/_{lit}$)	جذب نوری در ٦۰۰ نانومتر	شدت هوادهی(v.v.m)
۱۰/۵	۰/۸۵۱	۱/۵
۱۸/۹	۱/۲۱۱	۲/۵
۱۷/۹	۱/۱۹۲	۳
۱٦	۱/۷۲	۳/۷۵

با توجه به جدول ۵، مشاهده شد، که با افزایش شدت هوادهی از ۱/۵ v.v.m تا ۲/۵ v.v.m میزان تودهٔ زیستی تولیدی افزایش می‌یابد. زیرا مخمر تریکوسپرون یک میکروارگانیسم شدیداً هوازی است که با افزایش شدت هوادهی که منجر به افزایش سرعت انتقال اکسیژن در راکتور می‌شود، میزان تودهٔ زیستی تولیدی افزایش می‌یابد. از سرعت ۲/۵ v.v.m به بالا، میزان تودهٔ زیستی تولیدی کاهش می‌یابد، زیرا بعد از گذشتن شدت هوادهی از یک مرز مشخص(۲/۵ v.v.m) رژیم جریانی از حالت هموژن به حالت هتروژن میل می‌کند، و شدت تنش بر مخمر افزایش می‌یابد و این مسئله باعث از بین رفتن مخمر شده و لذا میزان تودهٔ زیستی تولیدی کاهش می‌یابد.

٤- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیاز مبرم به مواد غذایی، به ویژه مواد پروتئینی، تولید پروتئین تک‌یاخته می‌تواند جوابگوی نیاز آتی باشد. امروزه از این مادهٔ با ارزش غذایی در جیرهٔ غذایی دام و طیور استفاده می‌شود که با بررسی بیشتر از

Archive of SID

www.SID.ir

نظر سلامتی و بهداشتی و میزان اسیدنوکلئیک آن، می‌تواند مورد استفاده انسان نیز قرار گیرد. در تولید پروتئین تک‌یاخته، می‌توان از آب پنیر به عنوان سوبسترا استفاده نمود، که علاوه بر تولید یک مادهٔ با ارزش تا حدود زیادی از آلودگی محیط زیست نیز کاسته می‌شود، چون آب پنیر با COD بسیار بالا(حدود p.p.m ۷۰۰۰۰) شدیداً آلوده کنندهٔ محیط زیست می‌باشد. در تولید پروتئین تک‌یاخته از آب پنیر از مخمر تریکوسپرون بدلیل رشد بالا، در شرایط بهینهٔ PH =۳/۵ و دمای $۳۰c^{\circ}$ می‌توان استفاده نمود[۱، ۳]. در بیوراکتور هوای بالارونده، دو پارامتر مؤثر در نگهداشت گاز، که بر انتقال جرم و در نتیجه در بازدهی بیوراکتور مؤثر است باید بهینه‌سازی شوند، این دو پارامتر یکی ارتفاع مایع در جداکنندهٔ فاز(H_t) و دیگری نسبت قطر ناودان به قطر بالابر($\frac{Dd}{Dr}$) می‌باشد که در این تحقیق بهینه‌سازی شدند و مقادیر آنها برابر با H_t =۳cm و $\frac{Dd}{Dr}$ =۰/۵ بدست آمد. در این مقادیر بهینه مقادیر پروتئین تک‌یاخته تولیدی در شدت هوادهی مناسب v.v.m ۲/۵ برابر با ۱۸/۹ گرم بر لیتر بدست آمد. در نتیجه در مقایسه با میزان پروتئین تک‌یاخته تولیدی در تحقیقات دیگران[۱، ۳] در بیوراکتور ستونی حبابدار و همزن‌دار که به ترتیب برابر با ۱۷/۳ و ۱۰/۳۸ گرم برلیتر بود، افزایش در حدود ۸/۵ درصد و ٤٥ درصد نسبت به بیوراکتورهای ستونی حبابدار و همزن‌دار نشان داد. تولید پروتئین تک‌یاخته با استفاده از سوبستراها و میکروارگانیسم‌های دیگر در انواع دیگری از بیوراکتورهای با هوای بالارونده می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد و نتایج حاصله، با نتایج این تحقیقات مقایسه گردد.

فهرست واژگان

راکتور هوای بالارونده با حلقه جریان خارجی	(ELALR)	Air Lift Reactor External Loop
پروتئین تک‌یاخته	(SCP)	Single Cell Protein
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	(COD)	Chemical Oxygen Demand
محیط کشت	(PDA)	Potato Dextrose Agar

۵- منابع

[۱] حسینی، م. شجاع‌الساداتی، س. ع.(۱۳۷۸). کارآیی راکتور ستونی حبابدار در تولید پروتئین تک‌یاخته از آب پنیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۹۹ صفحه.

[2] Marco, M. and Dieter, M. 1995. calculation of circulating flows in bubble columns. 13: 2093- 2106.

[۳] معظمی، ن. شجاع‌الساداتی، س. ع.(۱۳٦۹). مقدمه‌ای بر بیوتکنولوژی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۱۰۳ صفحه.

[٤] تهرانی، ح. بنکدارپور، ب.(۱۳۷۷). بررسی چگونگی ساخت یک فرمنتور آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۸۵ صفحه.

[5] Vant Riet. 1999. Basic bioreactor design. Gulf publishing company, London.

[6] Mooyoung, G. M. and chisti, y. 1999. Bioreactor design for areation of shear sensitive formentation culture. Industrial biotechnology center. Canada N 21- 301.

[۷] رسولی، م. ب. شجاع‌الساداتی، س. ع.(۱۳۷٤). تولید پروتئین تک‌یاخته از آب پنیر و انتخاب میکروارگانیسم و بهینه‌سازی در شرایط کشت غیر مداوم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. ۹۰ صفحه

[۸] دارینی، ع. ا. بنکدارپور، ب. (۱۳۷۸). طراحی و ساخت یک فرمنتور. پایان‌نامه کارشناسی دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۸۵ صفحه.

[۹] کریم‌زاده، ر. توفیقی، ج.(۱۳۷٦). بیوراکتورهای برج حباب و ایرلیفت. مطالعه مخصوص۱، دانشگاه تربیت مدرس. ٤۸ صفحه.

[10] Mohamed, E. and Robin, J. 2002. Hydrodynamic flow regimes, gas holdup and liquid circulation in air lift reactors. Ind. Eng. Chem.. Res. pp: 1251- 1259.

[11] Mesein, A. and Mark, C. 1999. Hold up and liquid circulation velocity in a rectangular air lift bioreactor. Ind. Eng. Chem.. Res pp: 944- 949.

[12] Eloy, G. and pedro, L. 1999. prediction of gas hold up liquid velocity in air lift reactors using two phase flow friction coefficients. J. of Bio. 67: 388- 396.

[13] Masrg, w. A. and Dukkan, A. R. 2003. Hydrodynamics and masstransfer studies in

Archive of SID

www.SID.ir

a piloplant air lift reactor. Ind. Eng. chem.. Res. pp: 44. 480

[14] Bojin, J. and Hans, v. 1999. The influence of geometry on hydrodynamic and mass transfer characteristics in an external loop air lift reactor for the chivarly of filamentous fungi. J. of Micro. And Bio. 15: 83- 90.

[15] Farid, B. and lynn, J. 1999. Scal effects on hydrodynamic and mass transfer characteristics of external loop air lift reactors. J. of Biotech. 69: 301 – 308.

[16] Jorg, S. and Liweiawan, A. L. 2004. Foam supperession by bioreactor ret rofitting. J. of chemistry. 71: 308- 320.

Archive of SID

www.SID.ir